

# 本文章已註冊DOI數位物件識別碼

## ► 高地訓練的新理念

doi:10.6223/qcpe.1603.200209.1906

中華體育季刊, 16(3), 2002

Quarterly of Chinese Physical Education, 16(3), 2002

作者/Author：李昭慶

頁數/Page：37-44

出版日期/Publication Date：2002/09

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

<http://dx.doi.org/10.6223/qcpe.1603.200209.1906>



*DOI Enhanced*

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



# 高地訓練的新理念

李昭慶

淡江大學

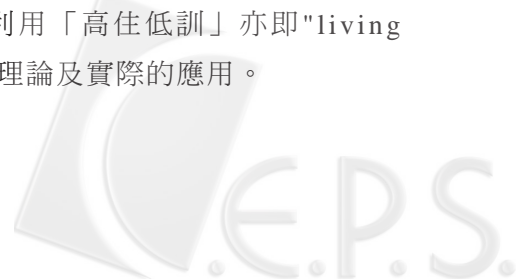
## 摘要

傳統高地訓練的實際效果，至今仍沒有充份有力的科學證據來加以支持，有些甚至仍有許多爭議存在，例如高地缺氧的環境造成最大攝氧量降低，加上運動後疲勞不易消除，無法讓選手保持與平地相同的訓練負荷強度。而LHTL訓練法為最近幾年被提出的一種耐力訓練的新方法，原文為"living high training low"，也就是居住在高地環境，訓練在低海拔地區，利用高地低氧的環境，改善運動選手對氧的運送及利用能力，且能在低海拔地區維持正規的訓練負荷強度，理論上可能會比傳統的高地訓練更為有效。

關鍵詞：高地訓練、低氧訓練、耐力訓練、LHTL訓練法

## 壹、前言

早在1968年墨西哥奧運於海拔2300公尺的高地舉行，當時人們就發現長距離的耐力運動項目，受到高地環境的影響最大。此後，高地訓練隨之引發許多運動科學研究人員與教練的重視，並且廣泛地應用在中長跑、競走、自由車、游泳、滑雪、划船等各項耐力性的競技運動上。高地訓練主要是藉由低壓（hypobaric）、缺氧（hypoxia）的環境對人體生理引發一連串的代謝及肌肉心血管呼吸循環的適應，進而影響氧氣的運輸和利用。然而，高地訓練一直存有爭議，特別是訓練負荷強度上受到限制，近年來LHTL訓練方法逐漸受到重視，利用「高住低訓」亦即"living high training low"之意，本文將簡要地介紹其科學的理論及實際的應用。



## 貳、高地環境對人體生理的影響

暴露在高地上主要是缺氧環境所造成的一些生理代謝反應，由於低氧的狀態無法充分地供應足夠的氧讓細胞利用，提供身體產生能量的需求。為補償缺氧造成能量供應之不足，需藉由無氧代謝系統產生能量，但此生化途徑將會發生幾項不利影響：一、每一公克能量所產生的ATP遠遠不及有氧代謝；二、它需要大量的碳水化合物；三、所產生的乳酸可能會影響細胞中的酸鹼平衡（Armstrong，2000）。

人體因應高地的低壓、低氧環境，在生理上所產生的影響包括：

- 一、呼吸系統：暴露在高地環境時，由於血中缺氧引起過度換氣（hyperventilation）反應，造成血中pH值上升，導致緩衝乳酸的能力下降。
- 二、循環系統：初上高地時，由於心跳率加快，導致心輸出量增加（West，1996）。缺氧的反應，也讓每搏輸出量因而減少。在高地時，紅血球因氧不足產生的量增加，但在上到高地一、二天時，由於血漿量減少，使得血紅素增加，可能造成血液的黏性提高。紅血球增加是因肝臟中賀爾蒙紅血球生成素（EPO）的產生，刺激骨髓製造紅血球。此外，紅血球的2,3-二磷酸甘油酸鹽（2,3-DPG）在上到中等高地後也會增加（Mairburl等人，1986）。
- 三、中樞神經系統：因中樞神經系統對缺氧的反應相當敏感，高地環境對於人體神經心理學上的功能（neuropsychological function）產生一些變化，包括會有幻覺、視野狹窄、有持續性精神上不安，其他如聽覺、動作技能、記憶、心情都會受到影響（West，1996）。
- 四、代謝方面：在高地上經常可以發現體重會減輕，而組織中微血管的數量密度增加，骨骼肌中肌紅蛋白（myoglobin）含量增加，粒腺體的數量增多以及氧化壢（oxidase）的含量和活性增加（趙家琪等人，1995）。
- 五、睡眠：在高地上幾乎所有人睡眠都會受到影響，且高度越高影響睡眠的程度越大（Anholm，1992）。在睡眠時如果有陳施氏呼吸（Cheyne-Stokes breathing）（一種不規律的呼吸形式），經常會有不規律的心跳節奏（irregular cardiac rhythms），心跳率明顯有週期性的變化。

## 參、高地訓練效果的爭議

以高地訓練的方法提昇耐力運動表現，一直以來受到許多選手及教練的青睞。

然而高地訓練的實際效果，卻很少有科學證據來驗證，有些甚至仍有許多爭議存在，其機轉（mechanisms）也未加以說明。至目前為止，許多對於高地訓練效果的研究，往往以高地訓練後的成績或突破個人最佳紀錄，作為有效的憑證，研究報告常缺乏訓練前的資料，或者控制組的設計（林正常，1998）。

高地訓練實際上是利用高地缺氧的環境，對人體產生一連串的刺激反應，提昇血液運輸氧及肌肉利用氧的能力，進而達到提高耐力運動表現的目的；同樣地高地缺氧的環境也有一些不利於運動表現的反應，例如，最大攝氧量下降（林正常，1998）、肌肉血流量與蛋白質的合成下降（Daniels & Oldridge, 1970）紅血球增加致使血液的黏性變大（Dempsey, 1986），甚至會降低身體的免疫功能，因氧化壓力的調節增加組織的傷害，因此有研究人員認為高地訓練對優秀的競技選手，將造成健康及體能上的威脅（Damian & Bruce, 1997）等不利的因素，這些因素可能造成訓練質量下降，導致成績表現無法提升。

然而，在高原缺氧的環境，無法實施正常的訓練負荷量及強度，主要是最大攝氧量下降。最大攝氧量下降可能是因為在缺氧的狀況，肺泡及動脈血氧分壓（ $\text{PaO}_2$ ）減少，造成動脈血氧飽和度（ $\text{SaO}_2$ ）降低，與動脈血含氧量降低，導致組織無法獲得充分的氧有關（West等人，1983）。當海拔高度在1600公尺時，最大攝氧量開始出現下降的現象，之後每上升300公尺，最大攝氧量下降3%，每升高1000公尺最大攝氧量減少11%（林正常，1998）。Robinson等人（1991）的研究也發現，海拔2000公尺時，長距離選手最大攝氧量下降20%。而Gore（1996）的研究，在海拔610公尺的高度，受試者的最大攝氧量就會有明顯的下降。高原缺氧造成最大攝氧量降低也可能與受試者的差異有關，運動選手比一般非運動員更容易受到缺氧的影響（Koistinen等人，1995；Robergs等人，1998）。高原所造成缺氧的環境造成最大攝氧量降低，加上運動後疲勞不易消除，以致選手無法保持與平地相同的負荷強度從事訓練。因此，如何維持高原訓練中的運動強度，提昇氧在人體內的傳輸和利用，促進肌肉的運動能力，進而提高耐力運動表現，便是一個相當重要的課題。

## 肆、常壓低氧的生理反應

由於高原訓練在低氧環境導致質量下降，為解決訓練時缺氧所造成的矛盾，低氧訓練就成為許多研究者關注的焦點。陳光仁（1993）的研究指出在常壓低氧下，健康男性以漸進負荷做最大努力的運動，結果發現最大有氧能力下降，但降低量與最大有氧能力無關，且降低換氣閾值，在最大負荷運動時，動脈血氧飽和度在低氧

顯著低於常氧。黃奕仁（1993）以低氧睡眠適應訓練的研究指出，低氧環境適應後，血紅素、心輸出量、攝氧量、pH值及乳酸忍受能力皆有增加。李晨鐘（1993）的研究發現，常壓低氧訓練對血液並沒有影響，但對心肺功能與運動表現的改善有幫助。李文志、陳俊忠（1996）探討常壓低氧模擬登山訓練的研究也指出，常壓低氧環境的訓練效果，在生理反應與運動表現上都明顯的優於常壓常氧組。

## 伍、LHTL訓練法

LHTL意即「living high-training low」，也就是「讓運動選手居住在高地或人工缺氧環境，在低海拔的地區進行訓練」的意思，這種訓練方式是由Levine在1991年時所提出，他認為既然在高地無法進行高強度的耐力訓練，不如讓選手住在高地低氧的環境，訓練時回到較低海拔的地區進行完全相同的高負荷的耐力訓練，如此一來不僅可以獲得在高地低氧環境的生理適應好處，同時可以解決因訓練強度不足導致訓練效果不佳的缺失。LHTL的訓練方式被提出後，便引起許多運動科學研究者及教練們的注意，並著手進行許多的研究。

Levine和Stray-Gundersen（1997）的研究，以39名長距離選手隨機分成三組，第一組（HiHi）受試者於2500公尺的高地訓練及生活；第二組（HiLo）住在2500公尺的高地，訓練時在海拔1300公尺的地區；第三組（LoLo）則是在平地居住及訓練。經四周的訓練後發現，第一組（HiHi）和第二組（HiLo）受試者的紅血球及最大攝氧量都有明顯的增加，而第三組（LoLo）則沒有改變。從運動能力來看，僅第二組（HiLo）的成績明顯的改善，回到平地的5000公尺測驗平均進步1.4%。Stray-Gundersen、Chapman和Levine（1998）進一步的以頂尖的田徑選手為研究對象，同樣的研究方法結果顯示，HiLo組3000公尺的成績平均提昇1.2%。Liu等人（1998）針對LHTL的訓練對心臟功能的影響之研究發現，LHTL的訓練能改善心臟的收縮功能，還強調這是由於左心室收縮能力增加，可能與 $\beta$ 腎上腺素受體（ $\beta$ -adrenergic receptor）增加，或者心肌能量（myocardial energy）的利用獲得改善有關。Mattila和Rusko（1996）的研究也指出，LHTL的訓練可以提高紅血球的製造（erythropoiesis）和2,3-DPG的生成，隨著環境的適應在海平面的運動表現也獲得改善。

上述的研究大多以有氧性的耐力運動項目，Nummela、Juste和Rusko（1996）以2位女性及4位男性400公尺的田徑選手為研究對象，讓他們居住在模擬的常壓低氧（normobaric hypoxia）的屋子（氧佔15.7%，約2200公尺的高地），在常壓的戶



外訓練，10天後發現400公尺的成績由 $49.62 \pm 2.78$ 秒進步到 $49.13 \pm 2.74$ 秒 ( $p < .05$ )，雖然他們仍無法明確的說明，LHTL的訓練對於無氧運動能力 (anaerobic performance) 的環境適應機轉，但其研究顯示LHTL能有效地改善在海平面的無氧運動能力。

## 陸、低氧帳篷系統 (Hypoxic Tent System) 的簡介

目前國外研究LHTL的訓練有以「低氧艙」的設備，利用氮氣分離的機器降低空氣中氧的比例，以人工的方式製造低氧的環境。近來就有國外廠商 (Hypoxico Inc., New York) 設計一種活動式的低氧帳篷系統 (Hypoxic Tent System)，就是一種利用唧筒 (pumps) 裝置分離氧在空氣中的含量，在帳篷 (tent) 中製造一種低氧環境；使得在此帳篷中保持正常的大氣壓力，但可以將氧的分壓減少。讓使用者能隨時隨地獲得高地訓練的好處，就如同自己擁有一個隨身的高地訓練基地一樣 (如圖)。



[取自：<http://www.hypoxictent.com>]

這種設備是以低氧形式的訓練程序，利用氧分壓的降低，來減少動脈血的氧飽和 (arterial oxygen saturation)。經過數小時後，人體將產生一些正常的生理適應的變化，例如，氧氣擴散到肺部的程度獲得改善、肌肉中酶 (enzyme) 水準提高、氧的利用效率提昇、更有效的中和乳酸 (lactic acid)、紅血球的製造率增加等。此外，逐漸適應低氧環境後，血漿量會增加，血比容 (haematocrit) 也會增加，也就表示血中血紅素 (haemoglobin) 含量也增加 (林正常，1998)。

紅血球主要的工作是運輸氧至組織，在與組織中的營養素結合以產生能量。有更多的紅血球，就可以傳送更多的氧到工作的肌群中。而改善運動員的成績表現就是利用這種生理適應的轉移。在過去，想要讓人體生理產生此種適應性，只能靠到高地環境居住一段時間，或者住進壓力艙（pressure chamber）裡。而這種設備可以隨時地在任何地方製造一個低氧的環境，提供比傳統高地訓練更佳的生理優勢。

## 柒、結語

LHTL的訓練乃利用低氧的環境，改善運動選手對氧的運送及利用能力，且能維持正規的訓練負荷強度，理論上可能會比傳統的高地訓練更為有效。國內對於低氧訓練的發展相當早，同時也有豐碩的成果，惟其研究大多著重在登山訓練上，未來若能將低氧訓練的概念應用到耐力競技運動裡，利用LHTL的訓練原則，進行訓練計畫與訓練內容的調整，藉以有效地提昇耐力運動訓練的效果。

## 引用文獻

- 李文志、陳俊忠。（1996）。常壓低氧與常壓常氧模擬登山訓練對運動表現與生理反應的影響。中華民國大專院校八十五年度體育學術研討會專刊。
- 李晨鐘。（1993）。常壓低氧與常氧耐力訓練對運動表現與生理反應之影響。未出版的碩士論文，國立體育學院運動科學研究所，桃園縣，台灣。
- 林正常。（1998）。運動生理學。台北市：師大書苑有限公司。
- 陳光仁。（1993）。常壓溫和低氧對非運動員踏車測驗生理反應之影響。未出版的碩士論文，國立體育學院運動科學研究所，桃園縣，台灣。
- 黃奕仁。（1993）。二週常壓低氧睡眠適應對男性心肺功能及血液生化之影響。未出版的碩士論文，國立體育學院運動科學研究所，桃園縣，台灣。
- 趙家琪、張問禮、田時家、胡揚、楊錫讓、王瑞元、佟啓良、熊開宇。（1995）。實用運動生理問答。台北市：浩園文化出版社。
- Anholm, J.D. (1992). Operation Everest II: Arterial oxygen saturation and sleep at extreme simulated altitude. American Review of Respiratory Disease, 145, 817~826.
- Armstrong, L.E. (2000). Performing in Extreme Environments. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bailey, D.M., & Davies, B. (1997). Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. British Journal of Sports Medicine, 31, 183~190.

- Daniels, J., & Oldridge, N. (1970). The effect of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. Medicine and Science in Sports, 2, 107~112.
- Dempsey, J.A. (1986). Is the lung built for exercise? Medicine and Science in Sports and Exercise, 18, 143~155.
- Gore, C.J., Hahn, A.G., Watson, D.B., et al. (1996). VO<sub>2</sub>max and arterial O<sub>2</sub> saturation at sea level and 610m. Medicine and Science in Sports and Exercise, 27(S5), 42 (Abstract).
- Koistinen, P., Tokala, T., Martikkala, V., & leppaluoto, J. (1995). Aerobic fitness influences the response of maximal oxygen uptake and lactate threshold in acute hypobaric hypoxia. International Journal of Sports Medicine, 26, 78~81.
- Levine, B.D. & Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low": the effect of moderate altitude acclimatization with low altitude training on sea level performance in trained runners. Journal of Applied Physiology, 83, 102~112.
- Liu, Y., Steinacker, J.M., Dehnert, C., Mendt, E., Baur, S., Lormes, W., & Lehmann, M. (1998). Effect of "Living High-Training Low" on the cardiac functions at sea level. International Journal of Sports Medicine, 19(6), 380~384.
- Mairburl, H., Schobersberger, W., Humpeler, E., Hasibeder, W., Fischer, W., and Raas, E. (1986). Beneficial effects of exercising at moderate altitude on red cell oxygen transport and on exercise performance. Pflugers Arch, 406, 594~599.
- Mattila, V., & Rusko, H. (1996). Effect of living high and training low on sea level performance in cyclists. Medicine and Science in Sports and Exercise, 28, S156.
- Nummela, A., Joste, P., & Rusko, H. (1996). Effect of living high and training low on sea level anaerobic performance in runners. Medicine and Science in Sports and Exercise, 28, S124.
- Robergs, R.A., Quintana, R., Parker, D.L., & Frankel, C.C. (1998). Multiple variables explain the variability in the decrement in VO<sub>2</sub>max during acute hypobaric hypoxia. Medicine and Science in Sports and Exercise, 30(6), 869~879.
- Robinson, D.M., Robinson, S.M., & Hume, P.A., & Hopkins, W.G. (1991). Training intensity of elite male distance runners. Medicine and Science in Sports and Exercise, 23(9), 1078~1082.
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R.F. & Levine, B.D. (1998). HiLo altitude training improves performance in elite runners. Medicine and Science in Sports and Exercise, 30, S85.
- West, J.B., Boyer, S.J., Graber, D.J., Hackett, P.H., Maret, K.H., Milledge, J.S., Peters, Jr., R.M.,



- Pizzo, C.J., Samaja, M., Samquist, F.H., Schoene, R.B., and Winslow, R.M. (1983). Maximal exercise at extreme altitude on Mount Everest. Journal of Applied Physiology, 55, 688~698.
- West, J.B. (1996). Physiology of extreme altitude. In Fregly, M.J. & Blatteis, C.M. Eds. Handbook of physiology. Section 4: Environmental physiology, Vol. II, NY: Oxford University Press.
- [WWW document]. Available <http://www.hypoxictent.com/science.htm>

